

PCT/JP 2004/015266

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

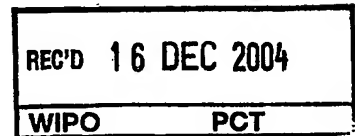
21.10.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 0 月 1 6 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 3 5 6 2 2 5
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 5 6 2 2 5]



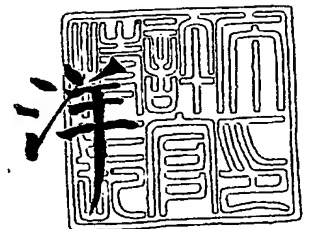
出 願 人 タマティーエルオー株式会社
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 2 月 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 1 0 9 7 6 6

【書類名】 特許願
【整理番号】 2003014-SK
【提出日】 平成15年10月16日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G02B 6/00
G01N 21/77

【発明者】
【住所又は居所】 東京都八王子市丹木町 1-236 創価大学内
【氏名】 伊賀 光博

【発明者】
【住所又は居所】 東京都八王子市丹木町 1-236 創価大学内
【氏名】 渡辺 一弘

【発明者】
【住所又は居所】 東京都八王子市丹木町 1-236 創価大学内
【氏名】 関 篤志

【特許出願人】
【識別番号】 800000080
【氏名又は名称】 タマティーエルオー株式会社
【代表者】 井深 丹

【代理人】
【識別番号】 100094053
【弁理士】
【氏名又は名称】 佐藤 隆久

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 014890
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 0107002

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

コア中で光を伝送する光ファイバ部と、
前記光ファイバ部の先端に融着接合される光透過性部材を含み、当該光ファイバ部が伝送する光の少なくとも一部を前記コアの外部に導いて当該光のモードの規定を解除し、モードの規定が解除された光が前記コア中に戻るモード規定解除手段と
を有する光ファイバセンサ。

【請求項 2】

前記モード規定解除手段は、前記光ファイバ部の前記コアとは径が異なり当該コアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、前記光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部である

請求項 1 に記載の光ファイバセンサ。

【請求項 3】

コア中で光を伝送する光ファイバ部と、
前記光ファイバ部の前記コアとは径が異なり当該コアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、前記コアを伝わった光の少なくとも一部を前記コアと前記光伝送コアとの境界から前記コアの外部に導く、前記光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部と
を有し、
前記光ファイバ部の先端に前記ヘテロ・コア部を融着接合した
光ファイバセンサ。

【請求項 4】

前記ヘテロ・コア部の表面側に設けられ、当該表面における前記ヘテロ・コア部中の光の反射により表面プラズモンを発生する金属膜
をさらに有する請求項 2 または 3 に記載の光ファイバセンサ。

【請求項 5】

前記ヘテロ・コア部の表面側に、前記ヘテロ・コア部の外部の検出対象物と選択的に反応して当該反応に応じた変化を前記ヘテロ・コア部中の光にもたらす検出薬を固定化して設けた

請求項 2 または 3 に記載の光ファイバセンサ。

【請求項 6】

前記ヘテロ・コア部の前記光ファイバ部に融着接合されている端部とは反対側の端部の表面に、前記ヘテロ・コア部中の光を反射して前記光ファイバ部側へ戻す反射手段をさらに設けた

請求項 2 ～ 5 のいずれかに記載の光ファイバセンサ。

【請求項 7】

コア中で光を伝送する光ファイバ部と、
前記光ファイバ部の先端に融着接合される光透過性部材を含み、当該光ファイバ部が伝送する光の少なくとも一部を前記コアの外部に導いて当該光のモードの規定を解除し、モードの規定が解除された光が前記コア中に戻るモード規定解除手段と

を有する光ファイバセンサと、

前記光ファイバセンサの前記光ファイバ部側の端部に接続され、当該光ファイバセンサの前記コアに光を出射する光源と、

前記モード規定解除手段において前記モード規定解除手段の外部との相互作用を受けて前記コアを介して前記光源側に戻ってきた戻り光の直接的な強度を検出する光検出手段と
を有する測定装置。

【請求項 8】

前記モード規定解除手段は、前記光ファイバ部の前記コアとは径が異なり当該コアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、前記光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部である

請求項 7 に記載の測定装置。

【請求項 9】

コア中で光を伝送する光ファイバ部と、
前記光ファイバ部の前記コアとは径が異なり当該コアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、前記コアを伝わった光の少なくとも一部を前記コアと前記光伝送コアとの境界から前記コアの外部に導く、前記光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部と

を有し、
前記光ファイバ部の先端に前記ヘテロ・コア部を融着接合した光ファイバセンサと、
前記光ファイバセンサの前記光ファイバ部側の端部に接続され、当該光ファイバセンサの前記コアに光を出射する光源と、
前記ヘテロ・コア部において当該ヘテロ・コア部の外部との相互作用を受けて前記コアを介して前記光源側に戻ってきた戻り光の直接的な強度を検出する光検出手段と
を有する測定装置。

【請求項 10】

前記ヘテロ・コア部の表面側に設けられ、当該表面における前記ヘテロ・コア部中の光の反射により表面プラズモンを発生する金属膜
をさらに有する請求項 8 または 9 に記載の測定装置。

【請求項 11】

前記ヘテロ・コア部の表面側に、前記ヘテロ・コア部の外部の検出対象物と選択的に反応して当該反応に応じた変化を前記ヘテロ・コア部中の光にもたらす検出薬を固定化して設けた

請求項 8 または 9 に記載の測定装置。

【請求項 12】

前記ヘテロ・コア部の前記光ファイバ部に融着接合されている端部とは反対側の端部の表面に、前記ヘテロ・コア部中の光を反射して前記光ファイバ部側へ戻す反射手段をさらに設けた

請求項 8 ～ 11 のいずれかに記載の測定装置。

【請求項 13】

前記光検出手段が検出した前記戻り光の強度に基づいて、前記光ファイバセンサの外部の環境の所定の特性を測定する測定手段

をさらに有する請求項 7 ～ 12 のいずれかに記載の測定装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】光ファイバセンサおよびそれを用いた測定装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバの先端部において外界の状況を検出するテIPP (tip) 型の光ファイバセンサ、およびそれを用いた測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

たとえば、液体の検知やその液体の濃度の検出等の目的のために光ファイバを利用する試みが知られている。

光ファイバを利用したセンサの一種として、光ファイバの中途部に、コア径が異なるヘテロ・コア部と呼ばれる部分を融着接合して設けたヘテロ・コア型の光ファイバセンサが知られている。ヘテロ・コア部を設けることにより、センシングに用いる光とセンサの外部との相互作用をより発生させ易くなる。

たとえば、特許文献1に、ヘテロ・コア型の光ファイバセンサの一例が開示されている。

【0003】

特許文献1においては、光ファイバの先端にヘテロ・コア部を融着接合している。そして、先端にヘテロ・コア部が接合されたこのヘテロ・コア型光ファイバセンサの光ファイバ側の端部を、OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer) に接続している。

OTDRからヘテロ・コア型光ファイバセンサへ光を入射し、ヘテロ・コア部において発生する後方散乱光の強度をOTDRによって測定することにより、後方散乱光の強度変化に応じて、液体の存在やその液体の濃度等の外界の状況を検出することができる。

【特許文献1】特開2002-350335号公報 (図4)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献1には、OTDRを用いて測定した後方散乱光を利用してセンシングを行なうことのみが開示および示唆されており、たとえば、以下のような不都合を回避することは困難であると考えられる。

たとえば、OTDRは微弱な後方散乱光を増幅して測定に用いる装置である。そのためOTDRは高価であり、OTDRを用いた場合にはセンサシステム全体のコスト低減化は困難になる。また、微弱な後方散乱光を用いるため、ある程度精密なセッティングが必要であり、簡便にセンシングが可能であるとは言い難い。後方散乱光を用いる場合には、フレネル (Fresnel) 反射による光と後方散乱光とを区別する必要もあり、センシング結果を直接的に簡便に得ることは困難である。

【0005】

本発明の目的は、外界の状況をより簡便に検出することを可能にする光ファイバセンサを提供することにある。

また、本発明の他の目的は、上記の光ファイバセンサを用いて、外界の状況をより簡便に検出して所定の特性を測定することが可能であり、かつ、製造も容易な測定装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明に係る光ファイバセンサは、コア中で光を伝送する光ファイバ部と、当該光ファイバ部の先端に融着接合される光透過性部材を含み、当該光ファイバ部が伝送する光の少なくとも一部を前記コアの外部に導いて当該光のモードの規定を解除し、モードの規定が解除された光が前記コア中に戻るモード規定解除手段とを有する光ファイバセンサである。

【0007】

または、本発明に係る光ファイバセンサは、コア中で光を伝送する光ファイバ部と、当該光ファイバ部の前記コアとは径が異なり当該コアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、前記コアを伝わった光の少なくとも一部を前記コアと前記光伝送コアとの境界から前記コアの外部に導く、前記光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部とを有し、前記光ファイバ部の先端に前記ヘテロ・コア部を融着接合した光ファイバセンサの構造であってもよい。

【0008】

本発明に係る測定装置は、コア中で光を伝送する光ファイバ部と、当該光ファイバ部の先端に融着接合される光透過性部材を含み、当該光ファイバ部が伝送する光の少なくとも一部を前記コアの外部に導いて当該光のモードの規定を解除し、モードの規定が解除された光が前記コア中に戻るモード規定解除手段とを有する光ファイバセンサと、前記光ファイバセンサの前記光ファイバ部側の端部に接続され、当該光ファイバセンサの前記コアに光を出射する光源と、前記モード規定解除手段において前記モード規定解除手段の外部との相互作用を受けて前記コアを介して前記光源側に戻ってきた戻り光の直接的な強度を検出する光検出手段とを有する測定装置である。

【0009】

または、本発明に係る測定装置は、コア中で光を伝送する光ファイバ部と、当該光ファイバ部の前記コアとは径が異なり当該コアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、前記コアを伝わった光の少なくとも一部を前記コアと前記光伝送コアとの境界から前記コアの外部に導く、前記光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部とを有し、前記光ファイバ部の先端に前記ヘテロ・コア部を融着接合した光ファイバセンサと、前記光ファイバセンサの前記光ファイバ部側の端部に接続され、当該光ファイバセンサの前記コアに光を出射する光源と、前記ヘテロ・コア部において当該ヘテロ・コア部の外部との相互作用を受けて前記コアを介して前記光源側に戻ってきた戻り光の直接的な強度を検出する光検出手段とを有する測定装置の構造であってもよい。

【0010】

本発明においては、光ファイバ部の一端部に光源と測定装置とが接続される。光ファイバ部は、光源から入射された光をコア中において伝送する。光ファイバ部の他端部に、たとえば、光ファイバ部のコアとは径が異なりこのコアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部等のモード規定解除手段が融着接合される。ヘテロ・コア部等のモード規定解除手段は、光ファイバ部のコアを伝わった光の少なくとも一部を、このコアの外部に導いてコア中における光のモードの規定を解除する。モードの規定を解除された状態で外部との相互作用を受けた光は、コアを介して光ファイバ部中において再び伝送され、光源側へ戻ってくる。光ファイバ部における光源側に接続されている測定装置は、この戻り光の直接的な強度を検出する。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、測定対象とする外界の特性を簡便に検出して測定可能な光ファイバセンサと測定装置とを容易に提供することが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

以下、本発明の実施の形態について、添付図面を参照しながら述べる。

【0013】

〔第1実施形態〕

図1は、本発明の第1実施形態に係るティップ (tip) 型の光ファイバセンサを用いた測定装置の概略構成図である。

図1に示すティップ型光ファイバセンサ測定装置100は、光源1と、光分岐装置2と、光ファイバセンサ9と、参照光検出器5と、信号検出器6と、測定演算器7とを有する。

本発明における光検出手段の一実施態様が信号検出器6に相当する。また、本発明にお

ける測定手段の一実施態様が測定演算器 7 に相当する。

【0014】

光源 1 は光ファイバ部 20d により光分岐装置 2 に接続されており、信号検出器 6 は光ファイバ部 20e により光分岐装置 2 に接続されている。

また、光ファイバセンサ 9 は光ファイバコネクタ 3 を介して光ファイバ部 20b に接続されており、この光ファイバ部 20b がさらに光分岐装置 2 に接続されている。

参照光検出器 5 は、光ファイバ部 20c を介して光分岐装置 2 に接続されている。

【0015】

光ファイバセンサ 9 は、光ファイバ部 20a の一端部にセンサ部 4 を有している。光ファイバ部 20a の他端部が光ファイバコネクタ 3 を介して光ファイバ部 20b に接続される。

【0016】

光ファイバ部 20a ~ 20e は、各々光ファイバを用いて構成される。光ファイバ部 20a ~ 20e を構成する光ファイバには、シングルモード光ファイバを用いてもよいし、マルチモード光ファイバを用いてもよい。光ファイバ部 20a ~ 20e を構成する光ファイバは、それぞれ種類が異なってもよい。

【0017】

また、光ファイバ部 20a ~ 20e の長さは、それぞれ適宜決めることができる。たとえば、研究室や実験室において測定対象試料中の測定対象物の定量を行なう場合には、それぞれ数十 cm の長さにすればよい。光源 1 とセンサ部 4 との距離を離す必要がある場合には、たとえば、光ファイバ部 20b または光ファイバ部 20d の長さを長くすればよい。使用形態に応じて、各光ファイバ部 20a ~ 20e は数百 m の長さとすることも可能である。

【0018】

信号検出器 6 と測定演算器 7、および光源 1 と測定演算器 7 とは、それぞれ信号線によって接続される。

たとえば図 1 に示すように、光源 1 と信号検出器 6 と測定演算器 7 とを一つにまとめて、測定器 8 として構成してもよい。

【0019】

光源 1 としては、複数の波長の光を含む光を発する多波長光源と、任意の波長の単色光を発する単一波長光源のいずれをも使用可能である。多波長光源としては、たとえば、白色光源を用い、単一波長光源としては、たとえば、発光ダイオード (Light Emitting Diode: LED) やレーザーダイオード (Laser Diode: LD) を用いる。

光源 1 は、光ファイバセンサ 9 を用いた測定のための光 LT1 を光分岐装置 2 に出力する。

【0020】

光分岐装置 2 は、たとえば、光ファイバカプラなどのような、1 つの入力ポートに光が入射した場合に、その光が複数の出力ポートに分岐して出力される装置により実現する。本実施形態においては、2 つの入力ポートと 2 つの出力ポートとを有し融着延伸法によって製作された 2 × 2 光ファイバカプラを用いる。この 2 × 2 光ファイバカプラにおいて、1 つの入力ポートに入力された光は、2 つの出力ポートに分岐されて出力される。

また、この光ファイバカプラにおいては、光の入出力方向を変更すれば、出力ポートは入力ポートとして機能し、入力ポートは出力ポートとして機能するものとする。

【0021】

光ファイバコネクタ 3 には、たとえば、光ファイバ同士の接続に使用される市販のコネクタを用いる。この光ファイバコネクタ 3 は、光ファイバセンサ 9 の光ファイバ部 20a と、光ファイバ部 20b との接続に用いる。光ファイバ部 20b の先端に直接センサ部 4 を設けて光ファイバセンサを製造した場合には、この光ファイバコネクタ 3 は不要である。

【0022】

光ファイバセンサ 9 は、光分岐装置 2、光ファイバ部 20b、光ファイバ部 20a を介して光源 1 から入力された LT2 光を、センサ部 4 において光ファイバセンサ 9 の外界と相互

作用させ、外界の状況を検出する。

光ファイバセンサ 9 の構成および機能の詳細については後述する。

【0023】

参照光検出器 5 は、光分岐装置 2 によって光源からの光 LT 1 から分岐された参照光 LT 5 を検出する。

参照光検出器 5 は、たとえば、フォトダイオードやスペクトルアナライザ（分光器）によって実現する。

参照光検出器 5 が検出する参照光 LT 5 は、光源 1 からの光 LT 1 の時間変動等の不安定性をキャンセルするための参照（リファレンス）として用いる。そのため、光源 1 の安定性を考慮しない精度の測定であれば、参照光検出器 5 は不要であり、また、光分岐装置 2 において参照光検出器 5 へ光を分岐させるための出力ポートも必要ない。

【0024】

信号検出器 6 は、光ファイバセンサ 9 において光ファイバセンサ 9 の外部の環境（外界）と相互作用を受けて光ファイバ部 20b および光分岐装置 2 を介して光源 1 側へ戻ってきた戻り光を、光ファイバ部 20e を介して受光する。

信号検出器 6 により、上記の戻り光の強度が検出される。即ち、信号検出器 6 は、光ファイバセンサ 9 からの戻り光の直接的な強度を検出する。

信号検出器 6 は、検出した光の強度のデータ信号 SG 1 を測定演算器 7 に送信する。

【0025】

信号検出器 6 としては、たとえば、スペクトルアナライザや、フォトダイオードを用いた受光回路を使用し、光源 1 の種類に応じてこれらの検出器を使い分ける。たとえば、光源 1 に白色光源を用いる場合には、白色光源からの光に含まれる各波長の光のそれぞれの強度を検出するためにスペクトルアナライザを用いる。光源 1 に LED や LD 等の単一波長光源を用いる場合には、フォトダイオードを用いた受光回路で十分である。フォトダイオードを用いた受光回路を、パワーメータと呼ぶこともある。

【0026】

測定演算器 7 は、たとえば、CPU (Central Processing Unit) 等の処理回路とその駆動のためのプログラムによって実現する。

測定演算器 7 は、信号検出器 6 から送信されるデータ信号 SG 1 に基づいて、光ファイバセンサ 9 を用いた測定対象の測定値を算出する。言い換えれば、測定演算器 7 は、データ信号 SG 1 が表わす光の強度の情報を、この強度を用いた所定の演算により、光ファイバセンサ 9 の外界における測定対象の存在や、その濃度、酸性度等の特性の情報に変換する。このような測定目的に応じた変換のためのプログラムが測定演算器 7 には含まれている。

【0027】

また、測定の自動化のために、測定演算器 7 から光源 1 に制御信号 SG 2 を出力させて、光源 1 のオン・オフや光の強度・種類等を測定演算器 7 に制御させる構成としてもよい。

【0028】

以下、光ファイバセンサ 9 について詳細に述べる。

図 2 は、第 1 実施形態に係る光ファイバセンサ 9 の構成を示すための、光ファイバセンサ 9 のセンサ部 4 近傍での長手方向の断面図である。図 2 の (a) ~ (c) のそれぞれは、センサ部 4 の構造がそれぞれ異なる光ファイバセンサをそれぞれ示している。

本実施形態に係る光ファイバセンサ 9 は、光ファイバ部 20a と、センサ部 4 とを有する。

光ファイバ部 20a は、コア 21 と、その周りに積層されるクラッド 22 とを有する。光源 1 からの光はコア 21 に入射される。

また、本実施形態に係るセンサ部 4 は、ヘテロ・コア部 30 と、金属膜 50 と、反射膜 60 とを有する。

【0029】

本発明におけるモード規定解除手段の一実施態様がヘテロ・コア部 30 である。

また、本発明における反射手段の一実施態様が反射膜 60 である。

本実施形態に係る光ファイバセンサ 9 は、光ファイバ部 20a の光源 1 側に配置される端部とは反対側の端部に、数 mm から数 cm の光ファイバ部 20a の長さと比較して短いヘテロ・コア部 30 を接続して構成している。したがって、光ファイバセンサ 9 は、センサ部 4 を構成するヘテロ・コア部 30 が先端に存在するテップ型の光ファイバセンサとなっている。

【0030】

図 2 (a), (b) には、光ファイバ部 20a と同じく、コア 31 と、その周りに積層されたクラッド 32 とを有するヘテロ・コア部 30 が示されている。コア 31 の径 b_1 が光ファイバ部 20a のコア 21 の径 a_1 よりも小さいヘテロ・コア部 30 が図 2 (a) に示されており、径 b_1 が径 a_1 よりも大きいヘテロ・コア部 30 が図 2 (b) に示されている。

このように、コア 31 の径 b_1 が光ファイバ部 20a のコア 21 の径 a_1 と異なっているため、コア 31 およびクラッド 32 とはヘテロ・コア部と呼ばれる。

なお、コア 21 の屈折率はクラッド 22 の屈折率よりもわずかに大きく、コア 31 の屈折率はクラッド 32 の屈折率よりもわずかに大きい。

コア 31 とクラッド 32 とはいずれも光透過性部材であり、光を伝送させることが可能である。

【0031】

図 2 (a) に示すヘテロ・コア部 30 においては、コア 31 の径 b_1 はコア 21 の径 a_1 よりも十分に小さく、たとえば、 $a_1 = 50 \mu\text{m}$ 、 $b_1 = 3 \mu\text{m}$ であるとする。

図 2 (b) に示すヘテロ・コア部 30 においては、コア 31 の径 b_1 はコア 21 の径 a_1 よりも十分に大きく、たとえば、 $a_1 = 50 \mu\text{m}$ 、 $b_1 = 90 \mu\text{m}$ であるとする。

また、ヘテロ・コア部 3 の長さ c_1 は、たとえば、10 mm とする。

【0032】

また、図 2 (c) に示すように、たとえば、光ファイバ部 20a のクラッド 22 と同等の屈折率を持ち光を伝送することが可能な光透過性部材 300 を、ヘテロ・コア部 30 の代わりに用いることも可能である。このような光透過性部材 300 も、コア径 b_1 が 0 である、一種のヘテロ・コア部であるとみなすことができる。

【0033】

光ファイバ部 20a とヘテロ・コア部 30 または光透過性部材 300 とは、長手方向に直交する界面 40a において、長手方向に沿って同軸に接合されている。ヘテロ・コア部 30 を光ファイバ部 20a に接合する場合には、ヘテロ・コア部 30 のコア 31 と光ファイバ部 20a のコア 21 とが接触するようにする。

以上の接合には、好適には、汎用化されている放電による融着手法を用いる。

【0034】

光ファイバ部 20a およびヘテロ・コア部 30 としては、シングルモード光ファイバおよびマルチモード光ファイバのいずれをも使用可能であり、これらを組み合わせて使用してもよい。

以下では、たとえば、コア径 a_1 が約 $50 \mu\text{m}$ のマルチモード光ファイバ（大崎電気社製）を用いた光ファイバ部 20a に、コア径 b_1 が約 $3 \mu\text{m}$ のシングルモード光ファイバ（Newport 社製、F-SA）を用いたヘテロ・コア部 30 を接合した場合を一例として挙げて述べる。

【0035】

ヘテロ・コア部 30 が存在することにより、光ファイバ部 20a のコア 21 内を伝わってきた光の少なくとも一部は界面 40a においてコア 21 の外部へリークする。コア 21 の外部へ導かれてリークした光の少なくとも一部はヘテロ・コア部 30 のクラッド 32 内を伝わる。このとき、ヘテロ・コア部 30 のクラッド 32 内においては、光ファイバ部 20a のコア 21 内における光のモードの規定は解除され崩される。

ヘテロ・コア部 30 において光のモードの規定が解除されることは、光ファイバ部 20a とヘテロ・コア部 30 として用いられる光ファイバの種類がシングルモード光ファイバであるかマルチモード光ファイバであるかに関わらず発生する。

【0036】

図3は、図2(a)に示すようなコア径 b_1 がコア径 a_1 よりも小さいセンサ部4を拡大して示した模式的な断面図である。ただし、図3において、図解の明瞭さのために光ファイバ部20aのコア21とヘテロ・コア部30のクラッド32とにおけるハッチングは省略している。

【0037】

金属膜50は、ヘテロ・コア部30の表面側を被覆するように任意の方法によってコーティングする。本実施形態においては、たとえば、ヘテロ・コア部30の外側表面に蒸着によりクロム(Cr)の膜50aを形成し、このクロム膜50a上に蒸着により金(Au)の膜50bを形成して金属膜50を形成する。

クロム膜50aの膜厚FW1は、たとえば、数nm程度である。金膜50bの膜厚FW2は、たとえば、数十nm程度である。

【0038】

詳細には後述するように、ヘテロ・コア部30の内部における光がヘテロ・コア部30と金属膜50との境界において反射することにより、表面プラズモンが発生する。

たとえば、銀(Ag)やアルミニウム(Al)等の他の金属を用いて金属膜50を形成してもよい。

【0039】

第1実施形態においては、ヘテロ・コア部30のうち光ファイバ部20aに融着接合されている端部とは反対側の端部の表面に、反射膜60をさらに設けている。

反射膜60は、たとえば、銀を蒸着することにより形成する。

反射膜60の膜厚 d_1 は、ヘテロ・コア部30内の光を光ファイバ部20a側に十分に反射することができる程度の厚さとする。たとえば、膜厚 d_1 は数百nm程度である。

ヘテロ・コア部30内の光を光ファイバ部20a側に十分に反射させることができれば、銀等の金属以外の物質を用いて反射膜60を形成してもよい。

反射膜60によりヘテロ・コア部30の先端が鏡面状になっていることにより、ヘテロ・コア部30内の光が先端において反射し易くなり、より多くの光が光ファイバ部20a側へ戻るようになる。

【0040】

ここで、本実施形態に係る測定装置100を用いた測定について述べる。表面プラズモンを発生させる金属膜50を有する光ファイバセンサ9は様々な物理的、化学的特性測定に利用可能であるが、以下では、グリセリンの濃度を測定する場合を一例として挙げる。

【0041】

本実施形態に係るセンサ部4は、たとえば、図1に示すように、測定対象物としてのグリセリンが含有されている溶液等の測定媒質MD中に浸漬される。

この状態において、光源1から測定用の光を出射させる。

図1に示すように、光源1から出射された光LT1は、光ファイバ部20dを介して光分岐装置2に入射する。

【0042】

光LT1は、光分岐装置2により2つの光に分岐される。一方の光LT2は、光ファイバ部20bと光ファイバセンサ9の光ファイバ部20aとを介して、センサ部4に到達する。もう一方の光LT5は、参照光として光ファイバ部20cを介して参照光検出器5に入射する。

。

【0043】

光ファイバ部20aのコア21内においては、光LT2は光ファイバの通常の性質から複数のモードが形成された光として伝わる。光ファイバ部20aによって伝送される光のモードは、コア21とクラッド22との境界における光の反射角として模式的にとらえることも可能である。光のモードを反射角ととらえた場合には、光ファイバ部20aにおける光の反射角は、非常に多くの離散的な角度であると考えることができる。図3において、この複数のモードが形成された光を光LTMとして表わす。

なお、本実施形態においては光源 1 から光ファイバ部 20a に入射させた光の強度変化を利用して測定するため、1つの波長に対するモード群の合算の光強度のみを考慮すれば十分である。

【0044】

多様なモードである光LTMは、界面 40a を通過してヘテロ・コア部 30 のクラッド 32 に入射するときに、モードの規定が解除されてモードが崩される。言い換えれば、ヘテロ・コア部 30 内においては、図 3 に示すように、クラッド 32 と金属膜 50 との境界において光が様々な反射角度で伝わるようになる。これは、光LTMがヘテロ・コア部 30 へ入射するときに、モード形態を決定付ける様々な条件（コア径・屈折率・屈折率分布）が変化する事と、モード形成の一つの要因であるファイバ長がヘテロ・コア部 30 の長さでは不十分であること、に起因すると考えられる。したがって、あるモードに規定されていた光LTMがヘテロ・コア部 30 に入射すると、そのモードの規定が解除されてモードが崩され、図 3 に示すような様々な反射角度で反射する、モードが崩された光LTUとなってクラッド 32 内を伝わる。

【0045】

ヘテロ・コア部 30 のクラッド 32 と金属膜 50 との境界において光が反射する際には、クラッド 32 内の光と金属膜 50 との間において相互作用が発生し、光の反射率に影響が現れ、反射率が変化する。大部分の場合には、光の反射率が低下して反射光の強度が減少する。この反射率の変化は、金属膜 50 が存在しない場合にも発生する可能性はあるが、金属膜 50 を設けた場合には表面プラズモン共鳴（Surface Plasmon Resonance: SPR）と呼ばれる現象により反射率の変化をより大きくすることができ、光の強度変化の測定を容易化することができる。表面プラズモン共鳴現象については、たとえば、『笠井、「表面プラズモン共鳴（SPR）を利用したバイオセンサー」蛋白質 核酸 酵素, Vol. 37, No. 15（1992年）p2977-2984』等の文献を参照されたい。

クラッド 32 内の光の反射率は、金属膜 50 が存在する場合には金属膜 50 に接している物質の屈折率、光吸収率に応じて変化する。金属膜 50 が存在しない場合には、クラッド 32 の外側表面に付着している物質の屈折率、光吸収率に応じて反射率が変化する。したがって、ヘテロ・コア部 30 において反射した光の強度を測定することによって、センサ部 4 の外界に存在する物質の屈折率、光吸収率等の特性を知ることができる。たとえば、測定媒質 MD 中のグリセリンの濃度を知ることができる。

【0046】

モードが崩れた光LTUが金属膜 50 とクラッド 32 との境界において反射することにより、様々な反射角度、即ちより多くの条件で光LTUとセンサ部 4 の外界との相互作用を発生させることができることになる。

【0047】

光ファイバ部 20a からヘテロ・コア部 30 のクラッド 32 内に入射し、モードが崩れた光LTUとなった光は、金属膜 50 との境界において反射しながらヘテロ・コア部 30 の先端まで伝わる。ヘテロ・コア部 30 の先端における界面 40b には鏡面となるように反射膜 60 が設けられているため、光LTUは界面 40b において反射し、再び金属膜 50 との境界において反射しながら光ファイバ部 20a 側に戻る。このように、センサ部 4 の先端において、モードが崩れた光LTUを反射させて戻すことにより、光ファイバ部 20a 側に戻った戻り光は、ヘテロ・コア部 30 を一方向に通過させただけの光と比較してより多くの相互干渉の情報を含んだ光となる。

【0048】

ヘテロ・コア部 30 においてセンサ部 4 の外界との間で相互作用が生じた後に再び光ファイバ部 20a のコア 21 内に戻った戻り光LT3は、図 1 に示す戻り光LT4として光ファイバ部 20b を介して光分岐装置 2 に到達する。

戻り光LT4は、光分岐装置 2 によって 2 つの光に分岐される。分岐された一方の光LT6が、光ファイバ部 20e を介して信号検出器 6 に到達する。

【0049】

信号検出器 6 は、光 LT 6 の強度を検出する。光 LT 6 の強度と戻り光 LT 3 の強度との間には相関関係があるため、光 LT 6 の強度変化を検出することによって、戻り光 LT 3 の強度変化を知ることができる。

【0050】

測定演算器 7 は、信号検出器 6 から送信されたデータ信号 SG 1 に含まれる光 LT 6 の強度の情報に基づいて、前述のように既知な測定対象の特性と光 LT 6 の強度との予め入手されている相関関係を用いて、測定対象の特性を測定する。たとえば、測定演算器 7 は、測定媒質 MD に含まれているグリセリンの濃度を演算により算出する。

上記の相関関係は、たとえば、図示しないメモリ等の記憶装置に、ルックアップテーブルとして記憶させておく。測定演算器 7 は、このメモリに適宜アクセスして、測定対象の特性と光 LT 6 の強度との相関関係を入手する。

【0051】

図 4 は、以上のティップ型光ファイバセンサ測定装置 100 を用いて、たとえば、グリセリンの濃度を測定した場合に得られる、光 LT 6 の波長と強度との関係を示すグラフである。図 4 において、横軸は光 LT 6 の波長を表わしており、縦軸は光源 1 からの光を基準としてノーマライズした光 LT 6 の強度を表わしている。基準とする光の強度としては、参照光検出器 5 によって検出した参照光 LT 5 の強度を用いてもよいし、測定演算器 7 が制御信号 SG 2 を用いて光源 1 に対して設定する、光 LT 1 の設定出力光強度を用いてもよい。

【0052】

図 4 に示す測定を行なう場合に、ヘテロ・コア部 30 の長さ cl は 10 mm とし、クロム膜 50a の膜厚 $FW1$ は 4.4 nm とし、金膜 50b の膜厚 $FW2$ は 57.04 nm に設定した。また、銀製の反射膜 60 の膜厚 dl は 200 nm に設定した。

【0053】

図 4 に示すように、様々な波長における強度を調べる掃引を実行するために、光源 1 としては白色光源を用いた。白色光源に対応して、参照光検出器 5 と信号検出器 6 とにはスペクトルアナライザを用いた。

【0054】

測定媒質 MD としては水を用いた。図 4 のグラフにおいて、グラフ GW は水が 100 % の場合の結果を、グラフ GG1 はグリセリン濃度が 20 % の場合の結果を、グラフ GG2 はグリセリン濃度が 50 % の場合の結果をそれぞれ示している。

なお、水の屈折率は約 1.333 であり、グリセリン 20 % 水溶液の屈折率は約 1.357 であり、グリセリン 50 % 水溶液の屈折率は約 1.398 である。

【0055】

図 4 に示すグラフにおいては、各グラフ GW, GG1, GG2 が従来よりも比較的なだらかに変化して下向きのピークが発生していることが特徴である。そして、各グラフ GW, GG1, GG2 は、従来よりも広い波長の範囲において互いに交わずにプロットされている。比較のために、従来の光ファイバセンサ測定装置を用いたときの測定結果を図 9 に示す。

【0056】

図 9 に示すグラフは、図 4 と同様に横軸が波長を表わしており、縦軸が光のノーマライズした強度を表わしている。

なお、図 10 に、従来の光ファイバセンサ測定装置の概略構成の一例を示す。図 9 に示すグラフ G_A, \dots, G_F は、図 10 に示すような 2 つの光ファイバ部 20a の間にセンサ部 4 を設けた構造の光ファイバセンサ 900 を用いた測定の結果得られたグラフである。2 つの光ファイバ部 20a はそれぞれ、センサ部 4 側の端部とは反対側の端部が、光源 1 とスペクトルアナライザ SA とにそれぞれ接続されている。

図 10 におけるセンサ部 4 は、反射膜 60 の代わりに光ファイバ部 20a を接続している以外は、図 3 に示す第 1 実施形態に係るセンサ部 4 と同じ構造をしている。図 10 に示す光ファイバセンサ 900 において、ヘテロ・コア部 30 の長さ cl は 10 mm とした。ただし、光ファイバセンサ 900 においては、クロム膜 50a の膜厚 $FW1$ は約 5 nm とし

、金膜 50b の膜厚 FW2 は約 60 nm と設定した。

【0057】

図 10 に示すセンサ部 4 は測定媒質 MD に接触させられる。この状態で、光源 1 から出射された白色光 LT_A が光ファイバ部 20a を伝わってセンサ部 4 に到達し、センサ部 4 においてその外界の測定媒質 MD と相互作用する。センサ部 4 において相互作用を発生させた後の光 LT_B は、センサ部 4 の後段、即ち光の出射側にある光ファイバ部 20a を伝わってスペクトルアナライザ SA に到達する。スペクトルアナライザ SA は、光 LT_B の強度を検出する。

【0058】

図 9 の各グラフ G_A, ..., G_F は、たとえば、測定対象物の濃度を変化させて図 10 における測定媒質 MD の屈折率を変化させたときの光 LT_B の各波長の光強度をそれぞれ示している。

グラフ G_A, G_B, G_C, G_D, G_E, G_F はそれぞれ、測定媒質 MD の屈折率が約 1.333, 1.345, 1.357, 1.371, 1.384, 1.398 の場合の結果をそれぞれ表わしている。

【0059】

図 4 と図 9 とを比較すると、従来の光ファイバセンサ 900 を用いた図 9 の場合には、550 nm 以上の波長の範囲において、図 4 の場合よりも各グラフが急峻に変化して下向きのピークが形成されていることが分かる。また、図 9 の各グラフ G_A, ..., G_F は、互いに交差していることが分かる。

【0060】

図 9 のように各グラフが交差する場合には、屈折率や屈折率から算出され得る濃度等の特性の測定に使用可能な波長が制限され、それゆえ測定が困難になる。たとえば、図 9 に示す波長 λ_1 (約 656.8 nm) においては、たとえば、グラフ G_C の場合よりもグラフ G_E の場合の方が屈折率は大きいにもかかわらず強度はグラフ G_C の場合よりもグラフ G_E の場合の方が小さくなる。このように屈折率の変化の傾向と強度の変化の傾向が異なるような範囲の波長の光を測定に用いることには困難を伴う。そのため、たとえば、波長 λ_2 (約 769.6 nm) ように屈折率の変化の傾向と強度の変化の傾向とに統一性が存在する範囲の波長の光を測定に用いる必要が生じる。

【0061】

しかしながら、図 9 のように各グラフが急峻に変化する傾向にある場合には、波長 λ_2 の場合においても、たとえば、グラフ G_A, G_B, G_C 間のように、グラフ間の間隔が狭くなる傾向がある。このため、従来は、強度の変化から屈折率等の特性の変化を導くことが困難な傾向にあった。

【0062】

一方、図 4 に示すような第 1 実施形態の場合には、各グラフがなだらかに変化し、かつ、グラフとグラフとの間隔が従来よりも広くなるため、たとえば、波長 λ_1 の光を用いても容易に屈折率等の特性を測定することができる。

このように各グラフが交差せずになだらかに変化する、即ち、各波長において測定対象物の特性がより明確に現れるようになる理由は、光ファイバ部 20a の先端にヘテロ・コア部 30 等のモード規定解除手段を接合し、このヘテロ・コア部 30 の部分において光を反射させて光ファイバ部 20a 側に戻しているためであると考えられる。つまり、ヘテロ・コア部 30 において、反射角度がほぼ一定のあるモードの光が外界と相互作用するのでなくモードが崩された様々な反射角度を有する光 LTU が外界と相互作用することにより、波長と強度とのグラフにおいて急峻なピークが形成されにくくなる。また、様々な反射角度を有する光 LTU が外界と相互作用することにより、測定対象物の特性が検出され易くなるため測定対象物の特性の変化が強度変化として現れ易くなる。その結果、同じ波長における各グラフ間の間隔が広がる。そして、モードが崩された光 LTU がヘテロ・コア部 30 の先端において反射して光ファイバ部 20a 側へ戻ることにより、光 LTU と外界との相互作用は単純には約 2 倍の回数繰り返されるため、上記のグラフ間の間隔が広くなりピー

クがなだらかになるという傾向は、より強くなる。

【0063】

以上の結果を屈折率の観点からまとめ直して示すためのグラフが、図5に示すグラフである。図5のグラフにおいて、横軸は測定媒質MDの屈折率を表わしており、縦軸は信号検出器6またはスペクトルアナライザSAによって検出した光の強度を表わしている。

図5において、◆印のプロットは第1実施形態に係るティップ型光ファイバセンサ測定装置100を用いて、波長656.8nm、即ち図9に示す波長 λ_1 における屈折率と光の強度との関係を測定した場合の結果を示している。一方、■印のプロットは図10に示す従来の光ファイバセンサ900による測定装置を用いて、波長769.6nm、即ち波長 λ_2 における屈折率と強度との関係を測定した場合の結果を示している。

【0064】

図5に示すように、第1実施形態の場合には従来では測定が困難であった波長 λ_1 の場合であっても強度と屈折率とがほぼ線形な関係にあり、容易に測定を実行することが可能であることが分かる。

一方、従来の場合には、強度変化の傾向と屈折率変化の傾向とに統一性が存在する波長 λ_2 においても、強度と屈折率との間には線形性が乏しい。

強度と屈折率との間に線形性が存在する本実施形態に係る光ファイバセンサ9の方が、センサとしては好ましい。

【0065】

以上のように、第1実施形態においては、光ファイバ部20aの先端に、コア21内を伝わるモードが規定された光LTMのモードの規定を解除してモードが崩れた光LTUにするモード規定解除手段を取り付ける。モード規定解除手段の内部において、モードが崩れた光LTUが外界と相互作用する。そして、外界と相互作用したモードが崩れた光LTUを、モード規定解除手段の先端の反射膜60によって反射させてさらに外界と相互作用させる。以上により、光ファイバを用いて測定を行なう場合に、外界の測定対象物の特性を検出可能な光の波長の範囲を広げて、検出特性を線形的にすることが可能になる。

モード規定解除手段としては、市販の光ファイバを利用したヘテロ・コア部30等の部材を使用することが可能である。光ファイバを切断してヘテロ・コア部30とするための切断装置も市販されている。ヘテロ・コア部30と光ファイバ部20aとの接合にも、汎用化されている放電による融着接合を用いることができる。融着接合のための装置も市販されている。このため、ティップ型光ファイバセンサ9および測定装置100を容易に製造することが可能である。

また、第1実施形態においては、図10に示すように光ファイバ部20aによってヘテロ・コア部30を挟み込むのではなく、光ファイバ部20aの先端にヘテロ・コア部30を接合し、相互作用が生じた後の光を光ファイバ部20a側へ戻す構造としている。このため、測定装置100のような測定系全体における光ファイバの敷設・引き回しを大幅に簡略化することができる。

【0066】

大きな強度でかつ安定してSPRを発生させるためには、金属膜50を形成する光ファイバの表面の粗さ等の特性が重要であるが、金属膜50を形成するヘテロ・コア部30に市販の光ファイバを利用することができるため、表面の特性の評価が容易であり、また、その特性が安定している。したがって、本実施形態に係る光ファイバセンサ9によれば、望ましいSPRを確実に発生させることができるようになる。

また、光ファイバ部20aのコア21内の光を外界と相互作用させるためのヘテロ・コア部30の外径を、光ファイバ部20aの外径と同じ大きさにすることが可能である。これにより、センサ部4の強度を向上させることが可能になり、光ファイバセンサ9を実用的に用いることが可能になる。

第1実施形態に係る測定装置100においては、ヘテロ・コア部30内の光のモードを崩すことにより、外界の測定対象の特性変化を戻り光LT6の強度変化に反映させ易くなる。したがって、戻り光LT6の直接的な強度を検出することによって、測定対象の特性を検

出することが可能になる。その結果、信号検出器6としてフォトダイオードのような、OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer) よりも格段に安価な装置を適用することが可能になり、測定装置100の価格を低減可能となる。また、ティップ型の光ファイバセンサ9を用い、たとえば、光源1としてLEDを、信号検出器6としてフォトダイオードを用いることにより、測定装置100を小型化することも可能になる。

【0067】

〔変形形態〕

図6は、上記第1実施形態に係る光ファイバセンサ9の変形形態を示す断面図である。

図6に示す変形形態に係る光ファイバセンサ90は、第1実施形態に係る光ファイバセンサ9を、カバー部材70によって挟み込んで覆った点のみが光ファイバセンサ9と異なる。したがって、同一構成要素には同一符号を付し、詳細な記述は省略する。

【0068】

カバー部材70は、たとえば、プラスチック等の樹脂材料によって形成する。

カバー部材70は、たとえば、ペン型、スティック型等の、光ファイバセンサ9の長手方向に沿う形状にする。

カバー部材70は、光ファイバセンサ9を挟み込んで固定し、光ファイバセンサ9におけるセンサ部4を含む先端部のみが測定媒質MDに接触可能になっている。

【0069】

以上のような光ファイバセンサ90は、光ファイバセンサ9と同様に、光ファイバコネクタ3を介して図1における光ファイバ部20bに接続可能であり、測定対象物の濃度等の様々な特性の測定に用いることができる。

以上のようなカバー部材70を有する光ファイバセンサ90、およびそれを用いた測定装置によれば、第1実施形態の場合と同じ効果に加えて、センサ部4の保護や、光ファイバセンサ9を直接操作するよりもハンドリングが容易になるという効果を得ることができる。

【0070】

〔第2実施形態〕

図7は、本発明の第2実施形態に係る光ファイバセンサのセンサ部4近傍での長手方向の断面図である。

第2実施形態に係る光ファイバセンサおよびそれを用いた測定装置は、金属膜50の代わりに検出薬固定化膜500を用いている点のみが、第1実施形態の場合と異なっている。したがって、同一構成要素には同一符号を付し、詳細な記載は省略する。

図7における(a)～(c)は、図2の(a)～(c)にそれぞれ対応しており、ヘテロコア部30の異なる構造をそれぞれ示している。

【0071】

検出薬固定化膜500は、たとえば、ゾル・ゲル法によって形成する膜や高分子膜によって実現する。たとえば、分子レベルの非常に細かい孔を有する多孔性膜として検出薬固定化膜500を形成することが、検出薬固定化膜500が固定化する検出薬と測定対象物とをより効果的に反応可能な点で好ましい。

【0072】

検出薬としては、たとえば、酸または塩基を検出するpH指示薬のような機能性色素や、特定の金属を検出する金属指示薬等の薬品を用いることができる。

これらの検出薬は、ゾル・ゲル法によって検出薬固定化膜500を形成する際に混合によって検出薬固定化膜500に固定化することもできるし、検出薬固定化膜500に化学的に固定化することもできる。

【0073】

上述のような検出薬は、その種類に応じて、特定の検出対象物と選択的に反応する。この反応により、検出対象物の特性（たとえば、酸であるか塩基であるか等の性質）に応じて、特定の波長の光が吸収されたり、蛍光が生じる等の現象が発生する。

この光の吸収や蛍光等の現象に応じて、スペクトルの変化や強度変化等の変化が、ヘテ

ロ・コア部30の内部のモードが崩れた光LTUにもたらされる。

したがって、検出薬と検出対象物との反応に基づく相互作用を受けた光LTUの戻り光LT6のスペクトル変化や強度変化を信号検出器6で検出することにより、検出対象物、つまり測定対象物の存在やpH、その種類等の特性を知ることが可能になる。

【0074】

以上のように、第2実施形態によれば、検出薬固定化膜500によって、特定の測定対象物と反応する検出薬をヘテロ・コア部30に固定化している。したがって、検出薬の種類に応じて、測定対象物を選択的に測定することが可能になり、第1実施形態の場合よりもさらに高感度・高精度な測定を行なうことができる。

検出薬をセンサ部4側に固定化するため、たとえば、アンモニアの検出のように、液体に限らず気体に含まれる測定対象物の検出ならびに定量が可能である。

以上のように、検出薬の種類を変えることにより、屈折率センサや濃度センサ、pH測定センサ等の多種のセンサを実現可能となる。

【0075】

〔第3実施形態〕

図8は、本発明の第3実施形態に係る光ファイバセンサのセンサ部4近傍での長手方向の断面図である。

第3実施形態に係る光ファイバセンサおよびそれを用いた測定装置は、金属膜50または検出薬固定化膜500を設けずヘテロ・コア部30をそのままセンサ部4として用いている点、第1、第2実施形態の場合と異なっている。それ以外の点は第1、第2実施形態の場合とほぼ同じであるため、同一構成要素には同一符号を付し、詳細な記載は省略する。

図8における(a)～(c)は、図2または図7の(a)～(c)にそれぞれ対応しており、ヘテロ・コア部30の異なる構造をそれぞれ示している。

【0076】

第3実施形態に係る光ファイバセンサおよびそれを用いた測定装置においては、ヘテロ・コア部30の先端に反射膜60は設けていない。反射膜60が無い場合であっても、ヘテロ・コア部30とその外部の外界との屈折率差により、ヘテロ・コア部30内の光はある程度光ファイバ部20a側へ反射して戻る。

【0077】

光ファイバ型センサにおいて、センサの外部の状況の特性を検出するためには、光ファイバ内の光を外部と相互作用させることさえできればよく、感度や選択性を必要としない場合には、金属膜50や検出薬固定化膜500は必要ない。したがって、図8に示すようにヘテロ・コア部30のみを用いてセンサ4部を実現した場合にも、外部の状況の特性の検出は可能である。

【0078】

ヘテロ・コア部30のみを光ファイバ部20aに融着接合した光ファイバセンサであっても、ヘテロ・コア部30において光のモードが崩れることにより、検出特性を線形的にすることが可能になる。

また、測定対象物に直接接触する部分では電力を必要としないため電気防爆性、耐引火性に優れ、光による情報伝達のため遠隔モニタリングが可能であり、センサ部4の小型化・軽量化が可能、光ファイバはフレキシブルであるため様々な形状に形成可能であることなどの光ファイバセンサの特徴は保持したままにできる。

【0079】

なお、本発明は上記の実施形態およびその変形形態に限定されない。たとえば、第2、第3実施形態に、第1実施形態の変形形態のようなカバー部材を設けても良い。また、第3実施形態に係るヘテロ・コア部30の表面に、第1、第2実施形態のような金属膜50または検出薬固定化膜500を設けてもよい。

たとえば、配管からの測定対象物の漏れなどを検出したい場合には、実施形態のような測定媒質MDにセンサ部4を浸漬させる形態に限らず、配管の測定希望位置にセンサ部4を

設置してもよい。

【産業上の利用可能性】

【0080】

本発明は、金属膜50の種類や検出薬固定化膜500に固定化させる検出薬の種類に応じて、たとえば、屈折率の測定、液体が存在しているか否かの液体検知、液体濃度の測定、ガス検知、ガス濃度の測定、たんぱく質の濃度測定、酸濃度測定、アルカリ度測定、その他の化学物質の検知や測定等の化学センサとして用いることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0081】

【図1】本発明の第1実施形態に係るティップ型の光ファイバセンサを用いた測定装置の概略構成図である。

【図2】第1実施形態に係る光ファイバセンサの構成を示すための、光ファイバセンサのセンサ部近傍での長手方向の断面図である。

【図3】図2(a)に示すセンサ部の模式的な拡大断面図である。

【図4】第1実施形態に係るティップ型光ファイバセンサ測定装置を用いてグリセリンの濃度を測定した場合に得られる、光の波長と強度との関係を示すグラフである。

【図5】第1実施形態に係る光ファイバセンサ測定装置と従来の測定装置とによって得られる屈折率と光の強度との関係をそれぞれ示したグラフである。

【図6】第1実施形態に係る光ファイバセンサの変形形態を示す断面図である。

【図7】本発明の第2実施形態に係る光ファイバセンサのセンサ部近傍での長手方向の断面図である。

【図8】本発明の第3実施形態に係る光ファイバセンサのセンサ部近傍での長手方向の断面図である。

【図9】従来の光ファイバセンサ測定装置を用いたときの光の波長と強度との関係を示すグラフである。

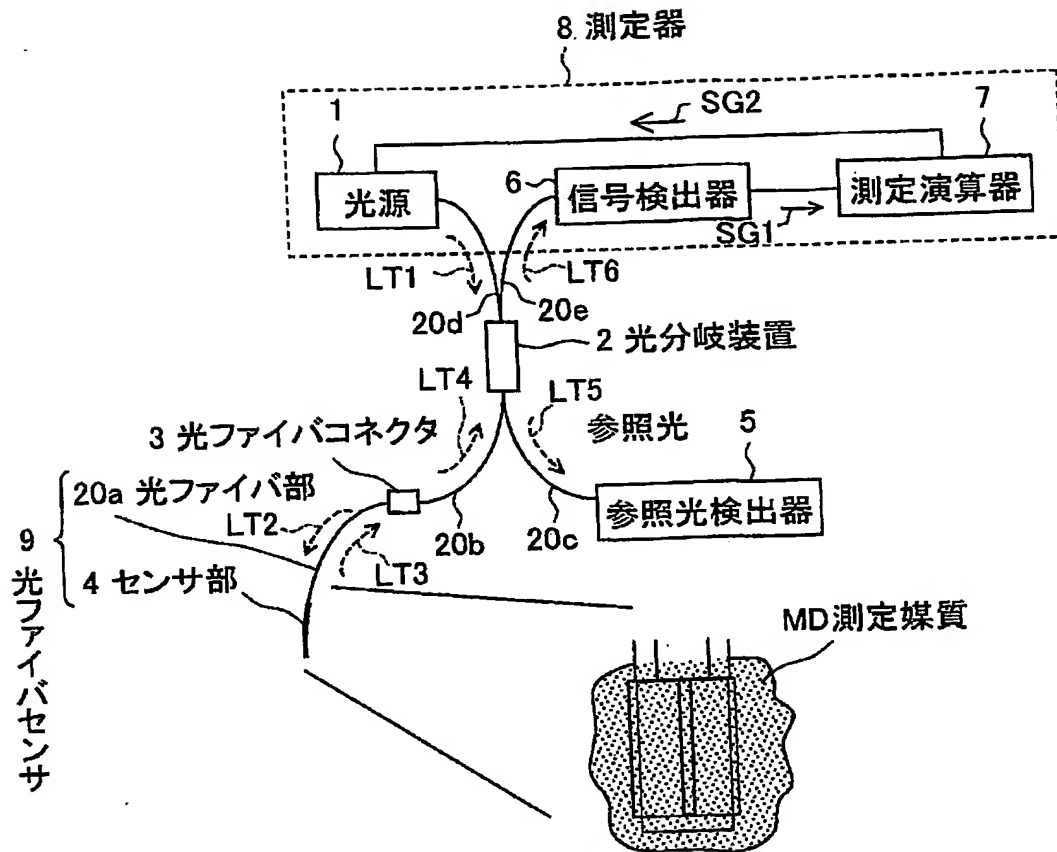
【図10】従来の光ファイバセンサ測定装置の概略構成の一例である。

【符号の説明】

【0082】

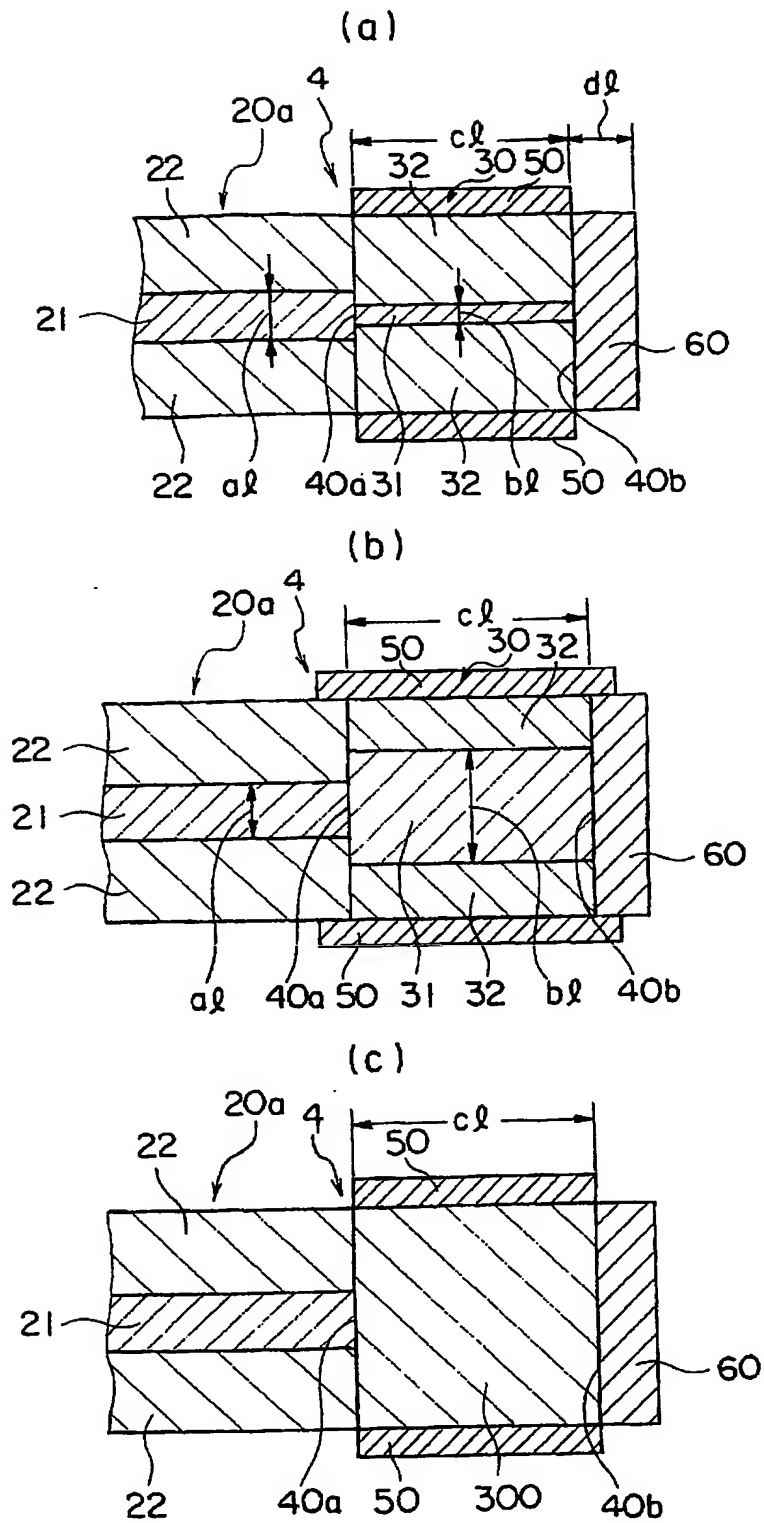
- 1…光源
- 2…光分岐装置
- 3…光ファイバコネクタ
- 4…センサ部
- 5…参照光検出器
- 6…信号検出器（光検出手段）
- 7…測定演算器（測定手段）
- 9…ティップ型光ファイバセンサ
- 20a～e…光ファイバ部
- 21, 31…コア
- 22, 32…クラッド
- 30…ヘテロ・コア部
- 50…金属膜
- 60…反射膜
- 100…ティップ型光ファイバセンサ測定装置
- 500…検出薬固定化膜

【書類名】図面
【図1】

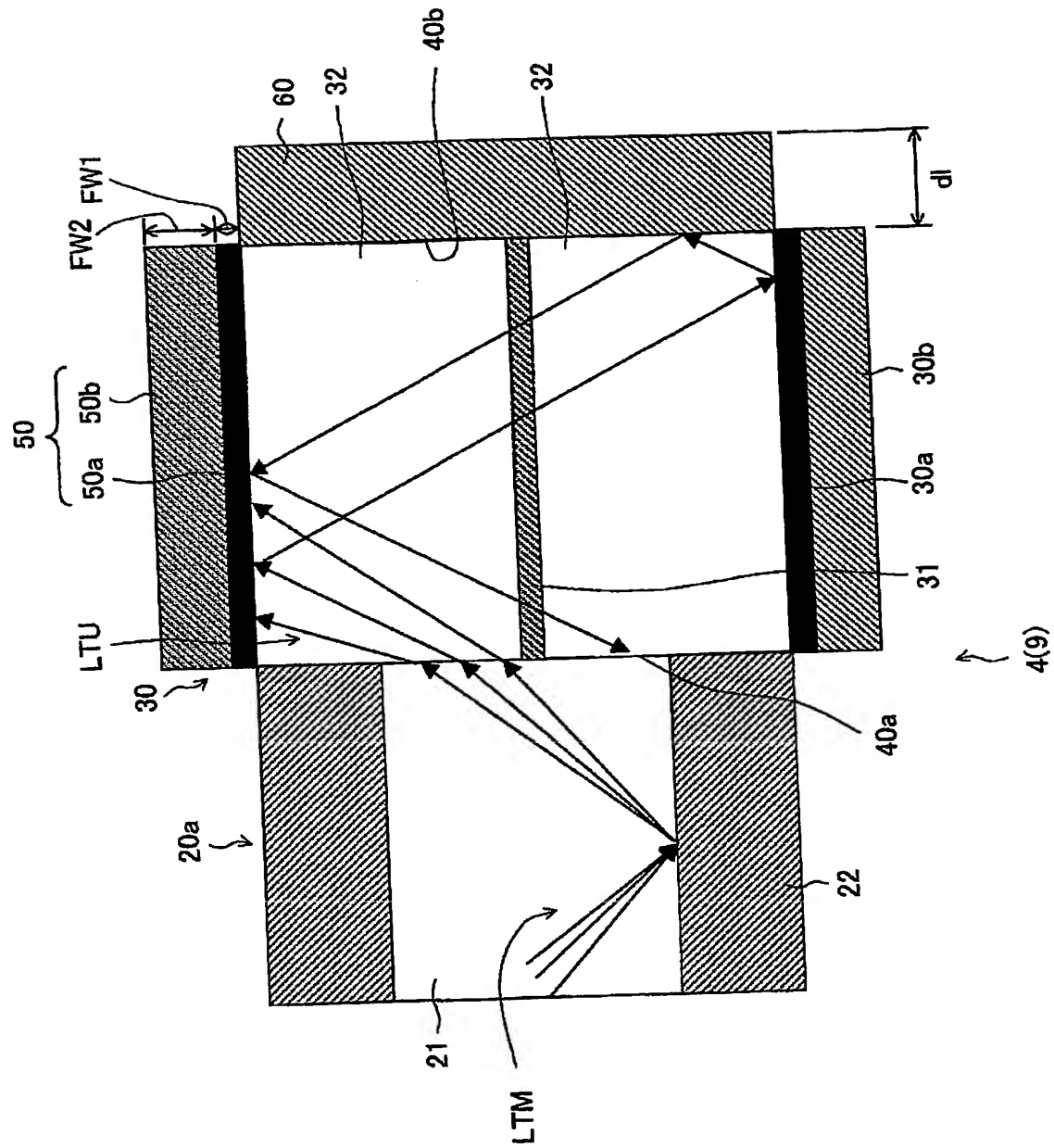


100 ティップ型光ファイバセンサ測定装置

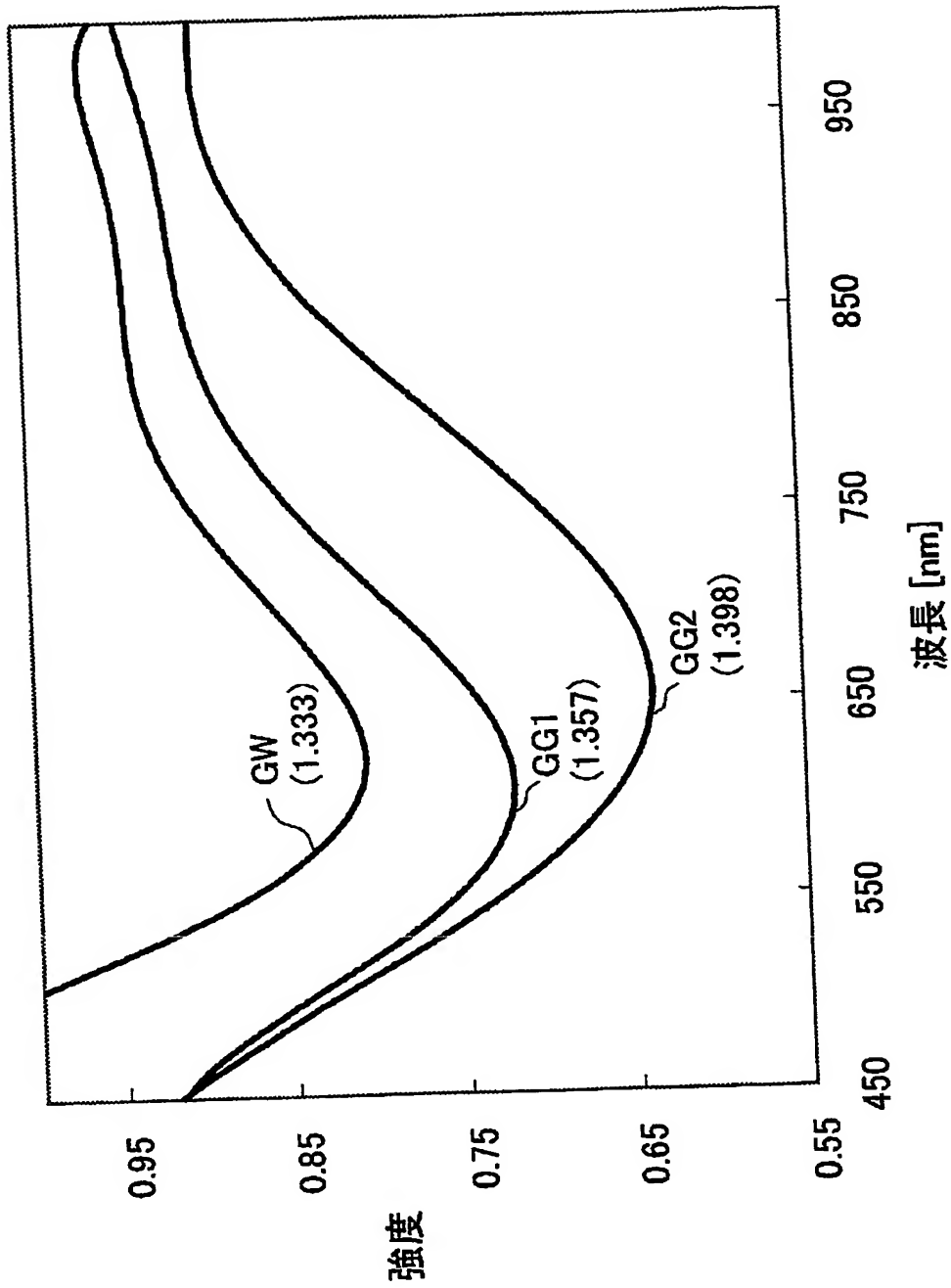
【図 2】



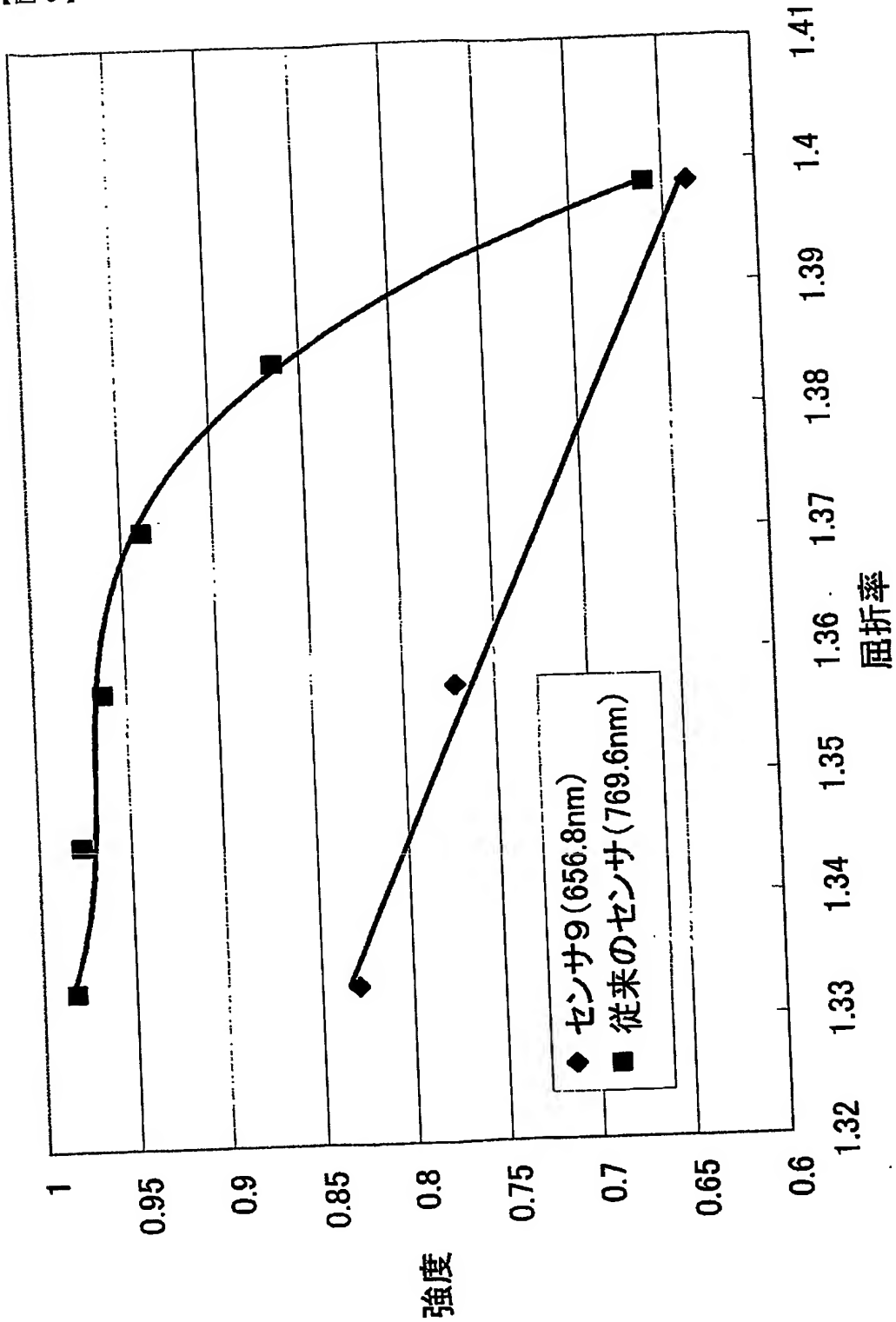
【図 3】



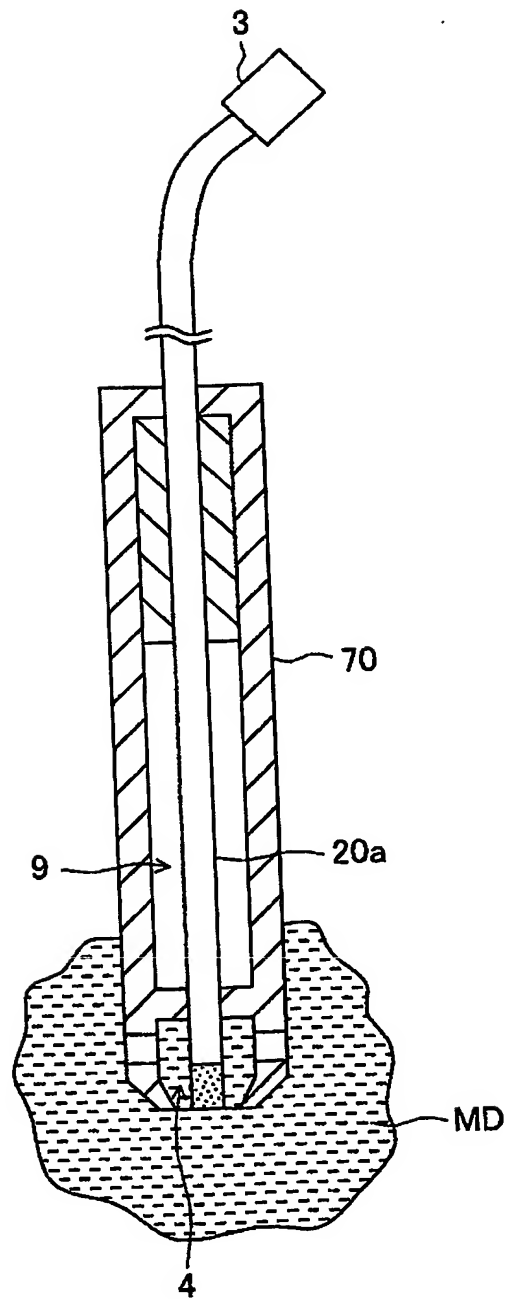
【図 4】



【図5】

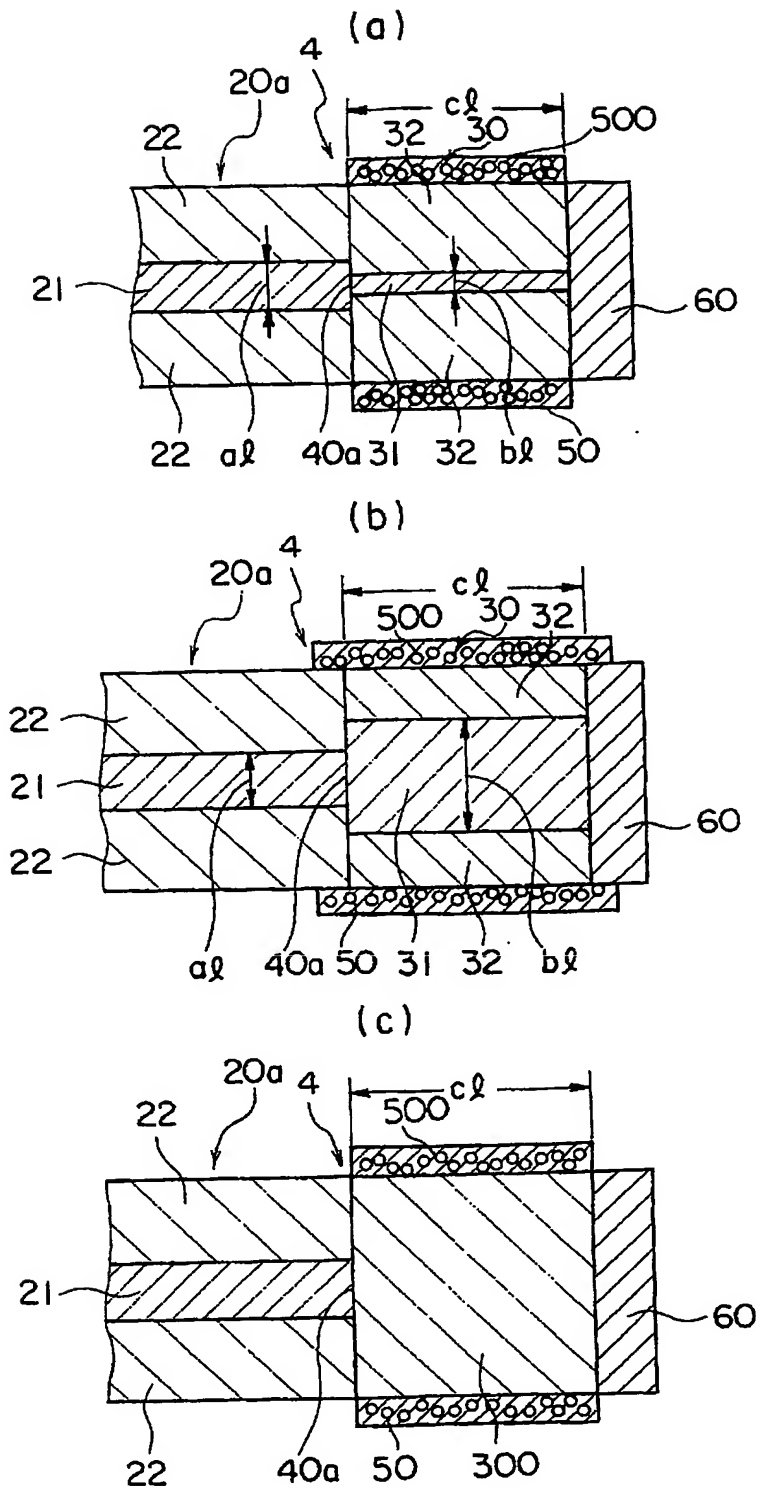


【図 6】

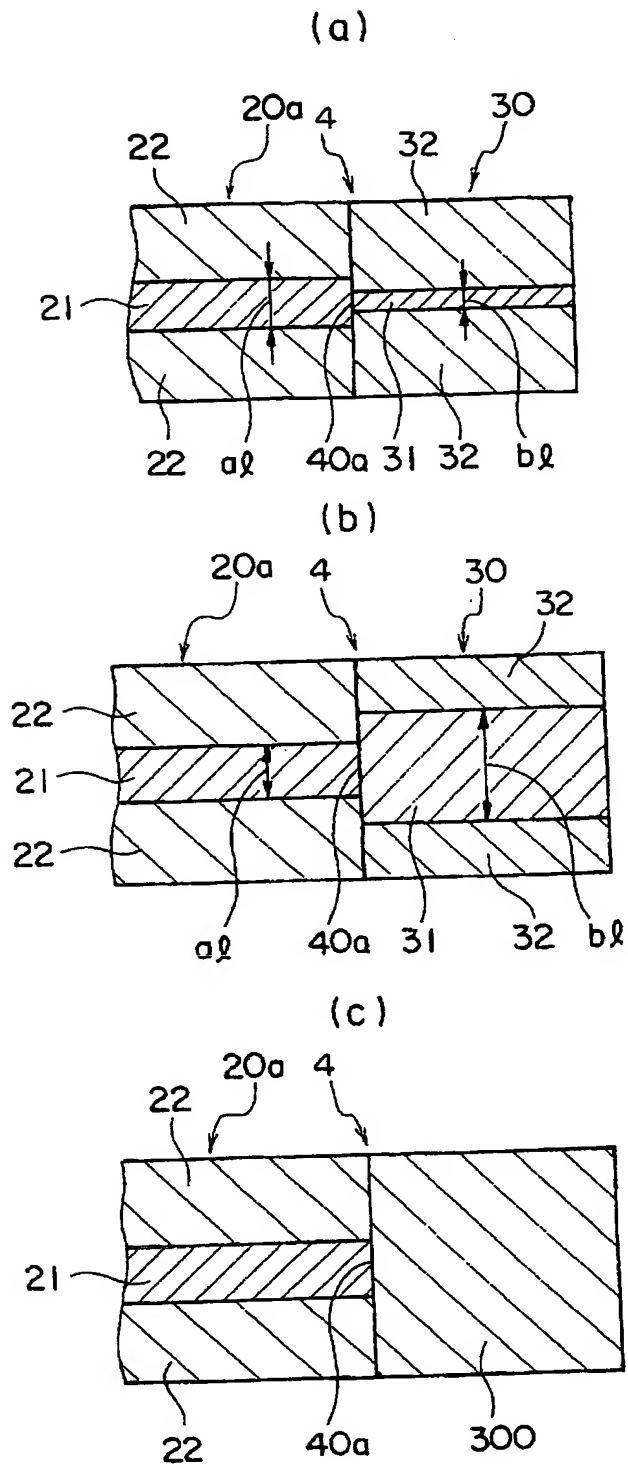


90 光ファイバセンサ

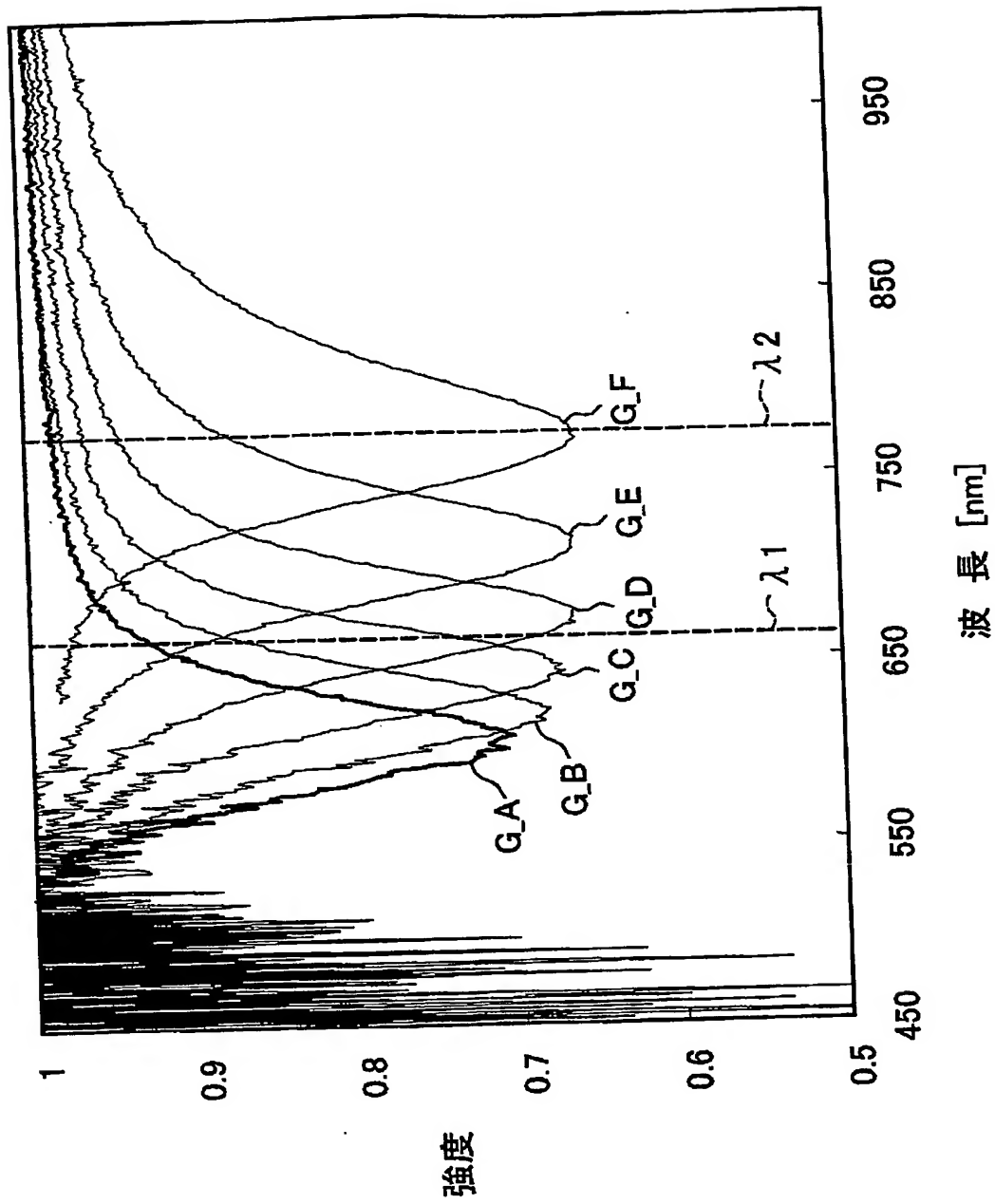
【図 7】



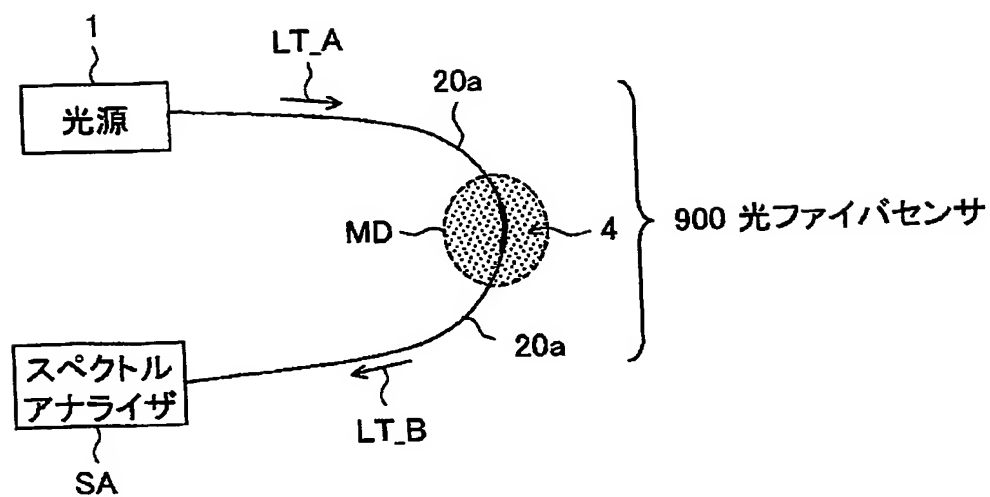
【図 8】



【図9】



【図 10】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】外界の状況をより簡便に検出することを可能にする光ファイバセンサおよびそれを用いた測定装置を提供する。

【解決手段】コア中で光を伝送する光ファイバ部20aの先端に、光ファイバ部20aのコアとは径が異なるヘテロ・コア部を融着接合して、ヘテロ・コア部によるセンサ部4を先端に有するテIPP (tip) 型光ファイバセンサ9を構成する。このテIPP型光ファイバセンサ9の光ファイバ部20a側の端部に光源1を接続し、光源1から光ファイバ部20aに入射しセンサ部4において測定媒質MDとの間で相互作用を受けた戻り光を、光ファイバカプラ2により分岐させ、フォトダイオードまたはスペクトルアナライザ6によって受光させて、光ファイバセンサ測定装置100を構成する。

【選択図】図1

特願 2003-356225

出願人履歴情報

識別番号

[800000080]

1. 変更年月日

2001年 8月30日

[変更理由]

住所変更

住所

東京都八王子市旭町9番1号 八王子スクエアビル11階

氏名

タマティーエルオー株式会社